

## Aplicaciones del IoT para el control de congestión vehicular

### IoT applications for vehicular congestion control

Javier Camarena <sup>1\*</sup>, Lyanne Contreras <sup>2</sup>, Keisha Moreno <sup>3</sup>, Miguel Rodríguez <sup>4</sup>, Claudio Salazar <sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup> Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>1</sup>javiacr24@gmail.com, <sup>2</sup>lyannem\_14@hotmail.com, <sup>3</sup>martinez8300@gmail.com, <sup>4</sup>miguelerq@gmail.com,  
<sup>5</sup>cjunier-16@hotmail.com

**Resumen**– En este artículo se presentan varias tecnologías que se utilizan para solucionar las causas del congestionamiento vehicular que ocurre en un área específica, ya sea por una cantidad elevada de tránsito de vehículos, búsqueda de estacionamiento o intersecciones viales. Para disminuir una elevada cantidad de vehículos que transitan por una carretera se utilizan técnicas como RoadRunner y Road Pricing, las cuales utilizan los teléfonos inteligentes para que los usuarios conozcan el estado del congestionamiento vehicular. En el caso de búsqueda de estacionamientos se presentarán tres sistemas que permiten al usuario conocer el estado de puesto y que tan lejano se encuentra el mismo lo que conlleva a reducir la agrupación de vehículos en espera y por lo tanto desahogar la vía. En cuanto al tráfico en las intersecciones viales se muestran las opciones de semáforos inteligentes y signal guru para controlar de manera eficiente los cambios en las luces de los semáforos e indicar el tiempo en que se realizarán estos cambios respectivamente. Estos métodos mencionados utilizan comunicaciones V2V, wifi o redes móviles para su funcionamiento, así como la recolección de información a través de cámaras o sensores para informar al usuario y que basándose en estos pueda decidir qué acción tomar.

**Palabras claves**– Aparcamiento inteligente, ciudades inteligentes, internet de las cosas, peajes adaptativos, semáforos inteligentes.

**Abstract**– This article presents several technologies that are used to solve vehicular congestion in a specific area, this can be caused for several reasons such as a high number of vehicles, cars looking for parking or intersections. RoadRunner and Road Pricing, which use smartphone apps for users to know the state of congestion, serve to reduce a high number of vehicles traveling on a road. In parking lots three systems will be presented, they allow the user to know the status of the lots and how far it is, which leads to a reduction of the grouping of vehicles on standby. In terms of intersections, intelligent traffic light and signal guru options are used to efficiently control changes in signal lights and indicate the time that these changes will be made respectively. These methods use V2V, wifi or mobile networks for their operation, as well as the collection of information through cameras or sensors to inform the user, based on this information they can decide what action to take.

**Keywords**– Adaptive toll, internet of things, smart parking system, smart cities, smart traffic lights.

### 1. Introducción

En ciudades en constante crecimiento un problema interesante de analizar es el congestionamiento vehicular y el crecimiento del parque vehicular; Panamá no es una excepción a este problema, si se tomara todos los automóviles que están trancados un viernes en las principales vías de la Ciudad Capital estos representarían más de 100 km acumulados, en otras palabras, la distancia que representa ir desde Ciudad de Panamá hasta Penonomé [1].

Son muchos los factores los que contribuyen al aumento del congestionamiento, entre ellos: las múltiples colisiones y el tiempo de demora de las autoridades competentes en llegar al evento causando el bloqueo momentáneo de por lo menos una línea de tránsito, asimismo, los automóviles que transitan alrededor por curiosidad o precaución disminuyen la velocidad contribuyendo al problema, los estacionamientos y los servicios de aparca-autos en muchas instancias no se dan abasto; en tanto, los conductores en búsqueda de un puesto de

estacionamiento pueden llegar a formar hasta 2/3 del tráfico local [2], dejando un claro campo de estudio para mejorar el actual método de búsqueda que consiste en manejar hasta encontrar un puesto de nuestro gusto o conformarnos con el que encontramos.

En una ciudad inteligente, donde gobierna el internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés.), este tipo de problema se reduce haciendo uso de la tecnología de la información y la telecomunicación (TIC's). Con respecto al problema de tráfico y afines, la aplicación de soluciones que involucren TIC's pueden ir desde semáforos inteligentes hasta sistemas de direccionamiento inteligente.

En este artículo se presenta una recopilación de diversas tecnologías que han sido desarrolladas y hoy son aplicadas en diversas partes del mundo para resolver las causas del congestionamiento vehicular.

## 2. Antecedentes

Panamá está en constante crecimiento económico, lo que, aunado a un pésimo sistema de transporte público, conlleva a que para el panameño común sea muy fácil y conveniente adquirir su propio vehículo y por consiguiente exista un sobre poblamiento de automóviles. Según cifras de la dirección de operaciones del tránsito (DOT) Panamá contaba entre el 2007 y 2011 con un registro vehicular de 500 mil autos, entre el 2013 y 2014 se estimaban 1 millón de autos y actualmente se tienen registrados 1.2 millones [3].

Si a este crecimiento vehicular se le suman el manejo desordenado y la falta de educación vial que afectan directamente el flujo en las principales vías de la ciudad, resulta un aumento en el congestionamiento vehicular a diferentes horas del día, no solo en la hora pico, sino que últimamente a cualquiera hora.

En la ciudad se han impulsado varias medidas para aliviar los tranques, desde restricción del tránsito de camiones en hora de la mañana, prohibición de vehículos a determinadas horas de la tarde y hasta modificación en los horarios de trabajos, así como cambio en el día de pago a los trabajadores, pero sin efectividad alguna.

Fernando Aranda, jefe de tránsito y seguridad vial de la ATTT la principal causa de los tranques es el manejo desordenado por parte de los conductores por lo que se trabaja en aumentar de 184 a 300 la cantidad de agentes para que dirijan el tráfico en las horas pico. Además, se

busca la forma de sincronizar de manera óptima los semáforos [4].

Este congestionamiento, además de las grandes molestias que producen a los conductores, conlleva a enormes pérdidas de dinero que alcanzan a 1 millón de dólares diariamente según cifras brindadas por Jorge García Icaza, vicepresidente de la Cámara de Comercio, Industrias y Agricultura de Panamá (CCIAP) y coordinador de la comisión de transporte del gremio empresarial [4].

## 3. Técnicas aplicadas al descongestionamiento vehicular

Como ya hemos visto existe una creciente necesidad por reducir la congestión vehicular lo que ha dado paso a la creación de nuevas técnicas que integran tecnologías ya disponibles como es el caso de los teléfonos inteligentes. En cuanto al problema de la congestión vehicular en esta sección nos centraremos en las soluciones a casos como: concentraciones de autos en una misma región, los semáforos que no manejan de manera correcta el flujo de los vehículos y el tráfico creado por vehículos en busca de estacionamientos.

### 3.1 Métodos inteligentes de descongestionamiento

#### 3.1.1 RoadRunner

RoadRunner es un prototipo de aplicación desarrollada por Jason H. Gao y Li-Shiuan Peh, investigadores de la MIT (Massachusetts Institute of Technology) en USA que aprovecha la comunicación de vehículo a vehículo (V2V), la conectividad celular y redes wifi para la detección y control de tráfico a gran escala dentro de una región determinada.

Para controlar el tráfico Roadrunner limita el número de vehículos en una región o carretera congestionada, exigiendo que cada uno de ellos posea una ficha electrónica de entrada, estas fichas pueden circular y ser reutilizadas por varios vehículos a medida que los mismos se desplazan entre regiones. Dichas fichas electrónicas son utilizadas como permisos de entrada a las carreteras y para registrar infracciones y / o aplica multas por violaciones de las políticas de control de congestión.

RoadRunner descarga la información de los teléfonos cercanos de cada vehículo, aprovechando la conexión de V2V vía ad-hoc WiFi y DSRC (dedicated short-range radio communications) para aliviar la

presión de ancho de banda celular y mejorar las latencias de respuesta en tiempo real.

El sistema proporciona al conductor direcciones de voz paso a paso, igual que en los sistemas de navegación por satélite existentes; cuando un conductor comienza un viaje, RoadRunner determina la ruta hacia el destino y negocia automáticamente los tokens (ficha electrónica). En segundo plano, RoadRunner también determina si las regiones que recorrerá son controladas por congestión, la obtención de las fichas provenientes del servidor se dan a través de la conexión celular o de otros vehículos a través de la radio V2V. Si no se puede obtener un token, RoadRunner notifica al conductor de un cambio en la intersección de la ruta uno antes de la nueva sucursal de la ruta.

Las regiones y una cuota de fichas, proporcionadas por un servidor central, están predefinidas por las autoridades de transporte. Los vehículos no pueden crear o duplicar fichas, garantizando un límite superior en el número de vehículos en una región. Los tokens pueden caducar, lo que ayuda a asegurar que los que se han perdido se restablezcan efectivamente y no impida el funcionamiento del sistema durante un período largo. Si un vehículo en la región no tiene un token válido, el sistema registra una violación y aplica una sanción, que podría ser una multa o una infracción reportada.

RoadRunner aprovecha las comunicaciones V2V para pasar fichas directamente entre coches cuando sea posible. Cada vehículo transmite un mensaje ANNOUNCE por un periodo de tiempo, que contiene la identificación del vehículo, ubicación, velocidad e identificación de la región de tokens ofrecido por el vehículo.

Este prototipo de aplicación ha sido probado en 10 vehículos en la ciudad de Cambridge, MA, USA, para la verificación del intercambio de token para V2V, utilizando ad-hoc WiFi y LTE, 802.11p [5].

### 3.1.2 Road pricing

El road pricing es una técnica utilizada para disminuir el flujo de vehículos en la carretera variando el peaje de una carretera basado en la cantidad de tráfico en la misma, a mayor tráfico más grande será el peaje a pagar, la aplicación indica al usuario en tiempo real el precio para la carretera que seleccione [6].

Bajo este sistema, todos los vehículos están equipados con un lector de tarjetas inteligentes, llamado

la unidad en el vehículo (IU), que acepta una tarjeta inteligente de valor almacenado. Al entrar en una Zona de Precios, el sistema ERP realizará transacciones automáticas con el lector de tarjetas inteligentes usando comunicaciones de Radio Frecuencia (RF) para debitar el valor apropiado.

Las cargas directas cobradas por el uso de carreteras, incluyendo peajes, tarifas a distancia o por tiempo, cargos de congestión son diseñados para desalentar el uso de ciertas clases de vehículos, fuentes de combustible o vehículos más contaminantes.

La ERP (Electronic Road Pricing) carga vehículos por el uso de la carretera en momentos en que su capacidad cae muy por debajo de la demanda. Gestiona la demanda y, al variar los cargos para reflejar el grado de congestión, suaviza los flujos máximos. La tecnología de los peajes electrónicos ya no requiere que los conductores se detengan en los peajes. Por lo tanto, evita congestión adicional.

Esta técnica reduce la congestión vehicular ya que al ver una carretera con peaje alto el usuario preferirá la utilización de otra con un menor precio y disminuirá directamente la contaminación. Sin embargo, una de sus desventajas es que puede ser perjudicial para las personas con bajos ingresos que deben transitar diariamente por una carretera congestionada.

El Road Pricing implementado en Singapur aumentó la eficiencia de una vía principal al mantener la cantidad de vehículos que la recorrían dentro de su capacidad reduciendo la cantidad de los mismos hasta una 24%, las velocidades dentro de las horas picos se mantuvieron mayores a lo normal y dentro del primer día de uso el sistema ayudo a reducir la congestión un 17% [6].

## 3.2 Señales de tráfico

### 3.2.1 Semáforos inteligentes

Los semáforos inteligentes ofrecen cambios dinámicos de las luces de semáforo en base a mediciones por inducción del flujo del tráfico en la carretera y según la carga se inclinan a favorecer una u otra dirección.

Estos sistemas están conformados por tres componentes: los semáforos, los sensores o cámaras colocadas en las carreteras y la central de control.

Los sensores le indican el estado del tráfico a la central de control y en base a esto toma la decisión para mantener las calle sin congestionamiento. Además el sistema también utiliza un historial de mediciones para

determinar si existe algún tipo de ventaja en realizar el cambio de luz como, por ejemplo, bajar los niveles de contaminación.

Estos semáforos nos ayudan a agilizar el tráfico ya que sus cambios favorecen la dirección más congestionada, lo que a la vez disminuye el consumo de combustible y reduce la contaminación. Haciendo un enfoque a un país grande como lo es Estados Unidos se conoce que el Centro para la Investigación Económica y Empresarial estima que los viajeros estadounidenses perdieron \$-124 billones en 2013, ocasionado por el exceso en el consumo del combustible a raíz de los constantes tranques [7].

Este tipo de sistemas tienen un costo de implementación que puede llegar a ser grande ya que trae consigo una reestructuración completa de los semáforos. En Cambridge, donde se desea tener 120 puntos de la ciudad con semáforos inteligentes se estima que la implementación en cada uno de ellos está alrededor de 100 mil euros incluyendo en esto los semáforos y la colocación de los sensores, por lo que necesitarían alrededor de 10 millones de euros para completar todo este proceso [8].

La técnica de semáforos inteligentes que ha sido implementada en la actualidad ha tenido un gran efecto siendo así que con solo instalar 9 de estos en Pittsburgh se redujo el tiempo de viaje dentro del corredor de East Liberty un 25%, el tiempo de espera fue reducido un 40% y las emisiones causadas por los vehículos bajaron un 20% [9].

### 3.2.2 Signal guru

El signal guru es una aplicación para teléfonos inteligentes que predice las transiciones de las luces de semáforos sin tener ninguna comunicación directa con las mismas. Para el funcionamiento de esta aplicación los teléfonos deben ser colocados en el parabrisas del auto, lo que permitirá al usuario detectar y determinar el estado del semáforo con su cámara. Esta aplicación utiliza múltiples teléfonos que se encuentren cercanos a través de comunicaciones AD-HOC y gracias a la colaboración de todos ellos puede aprender los patrones en las transiciones de luces en el semáforo y por lo tanto predecir cuándo ocurrirán.

El proceso entero consta de varios módulos, los cuales se pueden observar en la figura 1; primero tenemos la detección del color actual en el que se

encuentra el semáforo proporcionado por la cámara los teléfonos celulares, esta detección se da en un rango menor a 50 metros de distancia de la intersección.

Dicha información es tomada como tramas de video y filtrada para evitar tomar datos erróneos de transiciones que parecen haberse dado pero que realmente no ocurrieron, para esto utilizamos un filtro pasa bajas en la primera etapa de filtrado, el cual solo dejara pasar un determinado patrón como una transición válida y un filtro de “colocación” en la segunda etapa que es utilizado para medir la distancia entre las luces del semáforo y así estar seguros de que la transición captada fue generada por el mismo y no por algún objeto que intervino en la captura de datos.

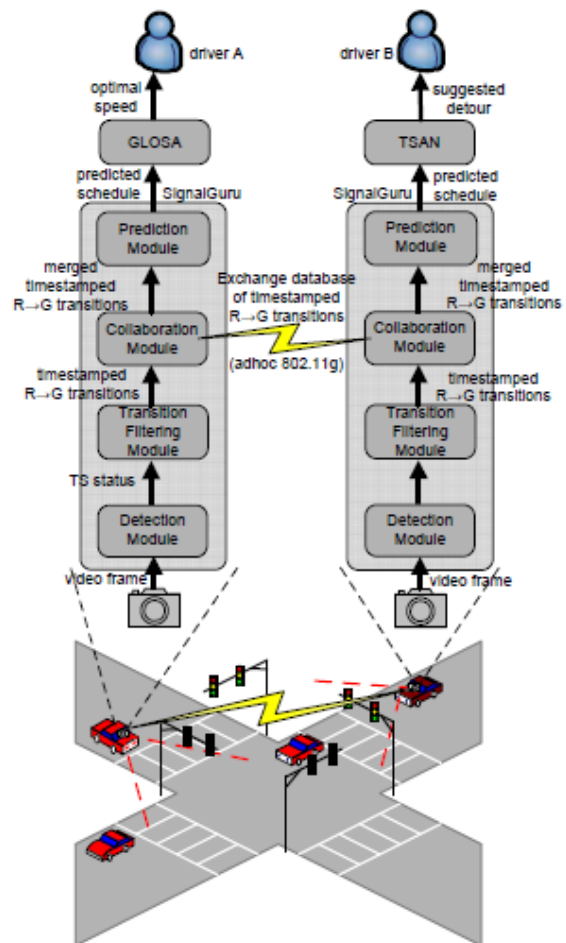


Figura 1. Arquitectura del servicio Signal Guru.

Luego se encuentra el módulo de colaboración que permite a un usuario compartir la información obtenida por el mismo y la que ha recolectado de otros usuarios con aquellos que se encuentren dentro de su rango de

comunicaciones a través de paquetes UDP y el estándar 802.11 ad-hoc, además de los datos recolectados también se comparten la base de datos de semáforos con el tiempo preestablecido y en el caso de los semáforos inteligentes el modelo de predicción SVR (Support Vector Regression) que ayudan a realizar las predicciones de las transiciones.

Toda la información recolectada es utilizada en el módulo de predicción para conocer cuando se darán las transiciones de las luces, debido a que tenemos dos sistemas de semáforos existentes: con el tiempo preestablecido y los semáforos adaptativos o inteligentes, estas predicciones se realizan de forma diferente. En los semáforos con el tiempo preestablecido la predicción dependerá del modo en el que los mismos estén trabajando (hora pico am/pm, horas bajas y fin de semana). Para semáforos adaptativos las predicciones se hacen basadas en la longitud que una fase del mismo se mantiene activa y el sistema SVR.

Esta aplicación es beneficiosa porque nos permite conocer desde antes de llegar al a intersección cuanto tiempo hace falta para que la luz cambie de fase, lo que ayuda al usuario a transitar a una velocidad adecuada reduciendo el número de accidentes.

Al ofrecer comunicación V2V esta aplicación tiene un rango muy limitado en el que trabaja debido a lo difícil que puede ser lograr una comunicación eficiente que permita la obtención de los datos.

### 3.3 Sistemas de aparcamiento inteligente

En esta sección se presentan tres sistemas en los cuales, desde diferentes acercamientos, se brinda una alternativa para la reducción de tiempo de búsqueda de un puesto de aparcamiento por un conductor.

El primero de ellos propone un sistema de reserva de estacionamiento inteligente o SPS (Smart Parking System) con una red de sensores inalámbricos, un circuito integrado, un servidor central que recibe información de los sensores y una aplicación para celulares móviles. En este esquema, desarrollado por Yang, Portilla y Riesgo, la interfaz propuesta para los usuarios permite ver mapas de la vida real en la cual gracias a ella se puede ver en tiempo real los puestos disponibles y el estado del mismo (libre u ocupado).

El segundo sistema, desarrollado por T. Pham, Ming-Fong Tsai, nos presenta un esquema y desarrolla un SPS donde cada carro es considerado como una red

en la cual se aprovecha la conectividad de distintos equipos dentro de él y se implementa un prototipo con acceso inalámbrico basado en la plataforma Arduino usando tecnología RFID (radio-frequency identification), la fuerza de esta propuesta recae en la importancia que le dan al algoritmo que aumenta la eficiencia de un SPS basado en la nube.

El último sistema, desarrollado por H. Wang y W. He, presenta un diseño e implementación de un prototipo de un SPS con reserva o RSPS que permite la selección de un puesto de estacionamiento viéndolo en una aplicación, también utiliza sensores en los puestos, esta propuesta considera vías de acceso a un lugar de estudio en el cual se considera como variable el tráfico en dichas vías y como dicho tráfico sirve para proporcionar un puesto de estacionamiento al cual se pueda acceder de manera rápida.

### 4. Conclusión

Todas las tecnologías que se han mencionado en este artículo tienen como fin el reducir la congestión vehicular, cada una atacando las diferentes causas de este problema, las cuales ya han sido mencionadas anteriormente. Esto nos permite hacer una comparación y definir cuál de ellas sería más óptima para utilizar dependiendo de la causa de la congestión.

Como se ha visto anteriormente tanto el roadrunner como el road pricing son utilizados para aliviar el congestionamiento en una determinada área, la diferencia recae en que el road pricing involucra el pago de un peaje adaptativo para entrar a dicha área mientras que el roadrunner exige una ficha electrónica. Si nos enfocamos en esta principal diferencia podríamos decidir fácilmente cual utilizar basados en lo que es más beneficioso para el usuario o el proveedor de los servicios; en el roadrunner los usuarios no tienen que hacer ningún pago a menos de que sean cometidas alguna infracción, por ejemplo, la entrada a un área sin ficha electrónica por lo que este método sería cómodo y barato para los usuarios, por otro lado el road pricing puede ser beneficioso para el estado ya que la recaudación iría directamente hacia ellos mientras que podría ser desventajoso para el usuario que debe transitar una misma carretera diariamente que se encuentra congestionada y que por lo tanto tendrá un peaje alto.

Tanto los semáforos inteligentes y el signal guru sirven para aliviar el tráfico en las intersecciones, la diferencia es que en el primero se utilizan de manera directa las mismas señales para este objetivo lo que conlleva la reestructuración e implementación de ellas mientras que en el segundo se utilizan las señales de manera indirecta y sin necesidad de implementación reduciendo costos ya que solo se hace uso de un teléfono inteligente. Otro punto importante es que los semáforos inteligentes reducen directamente el tráfico en las intersecciones mientras que el signal guru le brinda al usuario el conocimiento de cuándo habrá los cambios de fases para que el regule su velocidad y así se pueda mantener en movimiento hasta pasar por la intersección y no tenga que detenerse causando un aumento el consumo de combustible.

Las tres propuestas mostradas para los SPS nos ayudan a solucionar el problema de encontrar estacionamiento pero cada una presenta variaciones en la manera en la que operan y las consideraciones que toman. En la primera propuesta mostrada el sistema facilita en mapas los estacionamientos disponibles y el estado del mismo, sin embargo por su simplicidad la solución al no haber puestos disponibles es esperar hasta que un puesto se desocupe, la segunda tiene un nivel de desempeño mayor debido a que esta cuenta con un modelo matemático y un algoritmo computacional que permite redirigir al usuario a el espacio vacío más cercano luego de no encontrar puestos disponibles aunque esta no propuesta no considera el tráfico en las áreas de aparcamiento mientras que ultima propuesta si considera el tráfico en vías para facilitar las rutas de acceso al estacionamiento deseado, el estado de un puesto en particular por medio de sensores y la distancia que tendría que caminar el conductor hacia su destino.

## 5. Discusión

Conociendo los beneficios que ofrecen cada uno de los métodos de descongestión vehicular se puede realizar un análisis sobre cuál de estos sería el más adecuado para Panamá.

Teniendo en cuenta que la mayoría de la congestión en la ciudad de Panamá se da por la mala distribución en los cambios de las luces de los semáforos, la solución más acertada, aunque a largo plazo, sería la implementación de semáforos inteligentes para evitar que los vehículos queden situados en la intersección

impidiendo así el paso cuando se de la transición de una luz a otra. Una solución más económica y a corto plazo que también se podría utilizar es el sistema de aparcamiento inteligente que muestre los estacionamientos disponibles y considere el tráfico en el área para así reducir la cantidad de vehículos en la vía a la espera de un estacionamiento en su lugar de destino.

## 6. Agradecimiento

Quisiéramos agradecer a la Dra. Guadalupe González de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la UTP por el apoyo brindado para la ejecución de este artículo el cual fue producto del curso Introducción a Sistemas de Potencia.

## 7. Referencias

- [1] N. Alvarado.(2016,octubre). “Tranque en la ciudad: hay más de 100 kilómetros de autos acumulados”. TVN Noticias Panamá. [Online]. Disponible en: [http://www.tvn-2.com/nacionales/Tranque-ciudad-kilometros-autos-acumulados\\_0\\_4597790252.html](http://www.tvn-2.com/nacionales/Tranque-ciudad-kilometros-autos-acumulados_0_4597790252.html)
- [2] P. White. (2007, febrero). “No Vacancy: Park Slopes Parking Problem And How to Fix It”. [Online]. Disponible en: <https://www.transalt.org/news/releases/126>
- [3] J. Quiroz.(2016,septiembre). “Las causas de los intensos tranques en la ciudad de Panamá”. TVN Noticias Panamá. [Online]. Disponible en: [http://www.tvn-2.com/nacionales/Aumento-juega-vivo-afecta-trafico-panama-tranque-ciudad-panama\\_0\\_4566293335.html](http://www.tvn-2.com/nacionales/Aumento-juega-vivo-afecta-trafico-panama-tranque-ciudad-panama_0_4566293335.html)
- [4] R. Simmons. (2015, noviembre). “Problema del tráfico vehicular, sin resolver”. La Prensa Panamá. [Online] Disponible en: [http://www.prensa.com/sociedad/puntos-tranque-vehicular\\_0\\_4348815263.html](http://www.prensa.com/sociedad/puntos-tranque-vehicular_0_4348815263.html)
- [5] J. H. Gao, L. Peh, “RoadRunner: infrastructure-less vehicular congestion control”, Computer Science & Artificial Intelligence Laboratory, Cambridge,MA02139, USA, 2014.
- [6] T. Rye, “Congestion and Road Pricing”, Napier University, Edinburg, 2006.
- [7] Josh Sanburn. (2015, mayo). “How Smart Traffic Lights Could Transform Your Commute. Time United States”. [Online]. Disponible en: <http://time.com/3845445/commuting-times-adaptive-traffic-lights/>
- [8] Smarter Cambridge Transport United Kingdom (2017). “Smart Traffic Management”. [Online]. Disponible en: <http://www.smartertransport.uk/smart-traffic-management/>
- [9] K. Barry.(2014, septiembre). “The Traffic Lights of Tomorrow Will Actively Manage Congestion”. CityLab. [Online]. Disponible en: <https://www.citylab.com/transportation/2014/09/the-traffic-lights-of-tomorrow-will-actively-manage-congestion/379950/>